Generación de figuras de Lissajous desviando electrones mediante campos magnéticos alternos cruzados

Objetivo del experimento

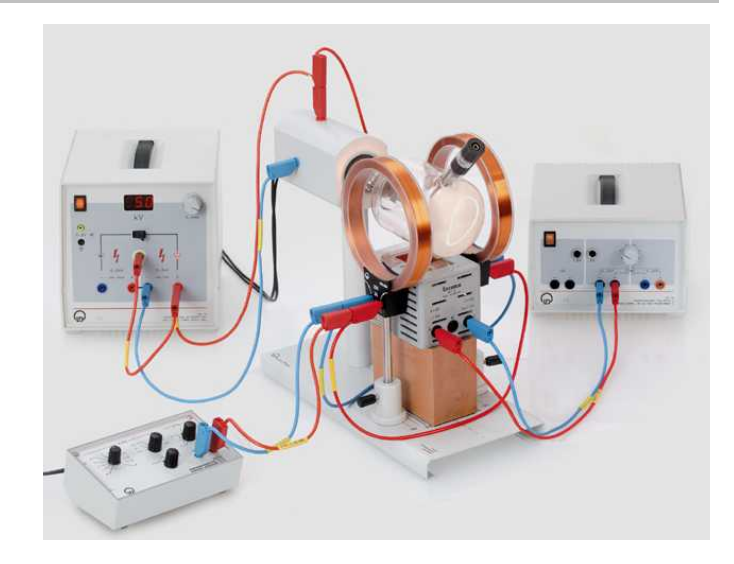
- Generación de figuras de Lissajous desviando un haz electrónico en campos magnéticos alternos cruzados.

Fundamentos

Con un tubo de Perrin se pueden estudiar diferentes propiedades de los rayos catódicos. En los experimentos con los tubos diodo, triodo y el tubo con cruz de Malta se estudió cualitativamente la existencia de los rayos catódicos, su propagación en línea recta en el espacio libre y su desviación bajo campos eléctricos y magnéticos.

Con el tubo de Perrin se pueden determinar la polaridad y la carga específica de los portadores de carga (P3.8.4.1). Sobre la pantalla fluorescente se puede observar también la desviación del rayo electrónico causada por los campos eléctrico y magnético y estudiarla con más detalle. La desviación en el campo magnético se debe a la fuerza de Lorentz $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ sobre los portadores de carga y es perpendicular a la dirección de movimiento de los portadores de carga y a las líneas del campo magnético.

En el experimento se estudia la desviación de electrones bajo campos magnéticos alternos cruzados. Cuando un rayo electrónico se mueve entre dos campos magnéticos alternos, cuyas líneas de campo son perpendiculares entre si, los movimientos de los electrones son una superposición de los movimientos en dirección vertical y horizontal (Principio de Superposición). Sobre la pantalla se verán diferentes figuras, dependiendo de las frecuencias seleccionadas. Si la razón entre ambas frecuencias aplicadas es un número racional, las curvas que se obtienen son cerradas y por tanto estacionarias. A partir de ellas se puede leer la razón de frecuencias y el desfase entre los campos alternos aplicados. A estas curvas se les conoce bajo el nombre de “Figuras de Lissajous”. Para todas las otras razones de frecuencias las curvas son abiertas y parecen estar girando. Para el caso especial donde los campos tienen la misma frecuencia y amplitud se obtiene una línea diagonal si el desfase es de 0° (ó 180°) o un círculo si el desfase es de 90° (ó 270°). Pero incluso para diferentes amplitudes si el desfase es de 0° (ó 180°) se obtiene una sola línea; la pendiente de la línea depende de la relación de amplitudes. Para un desfase de 90° (ó 270°) se obtiene una elipse cuyos semiejes corresponden justo a la desviación producida por las dos tensiones alternas aplicadas. Para otros desfases se obtiene siempre una elipse girada.



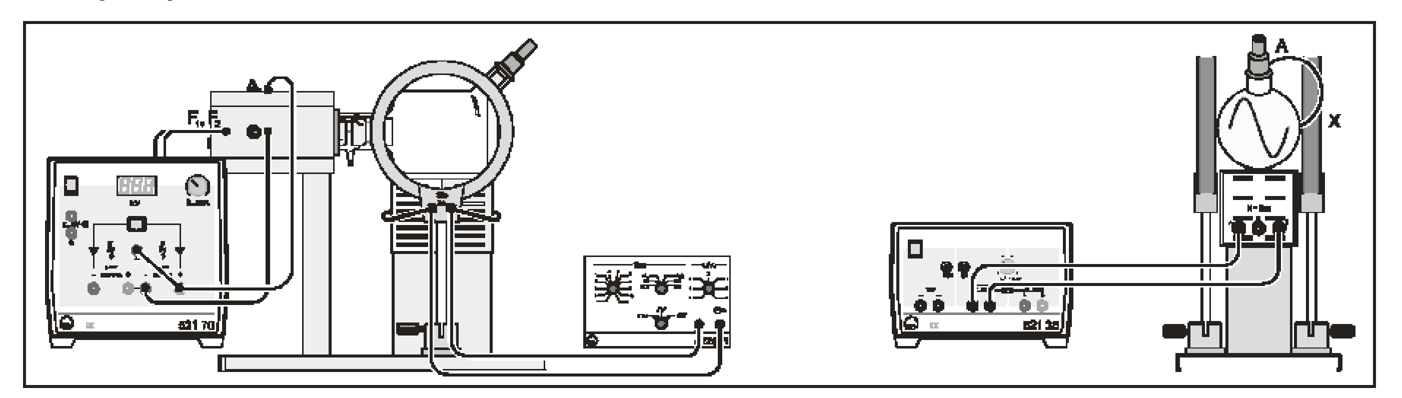
Materiales

1 tubo de Perrin 555 622
1 portatubo 555 600
1 par de bobinas de Helmholz...............................555 604
1 bobina de 500 espiras 562 14
1 transformador variable de baja tensión S 521 35
1 fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV .521 70
1 generador de funciones S 12, 0,1 Hz - 20 kHz 522 621
1 taco para calzar, juego de 6 piezas 300 761
1 cable de experiment. de seg., 25 cm, rojo...........500 611
2 cables de experiment. de seg., 50 cm, rojos 500 621
1 cable de experiment. de seg., 50 cm, azul 500 622
3 cables de experiment. de seg., 100 cm, rojos 500 641
3 cables de experiment. de seg., 100 cm, azules...500 642
2 cables de experiment. de seg., 100 cm, negros ..500 644



LD Didactic GmbH · Leyboldstraße 1 · D-50354 Hürth / Alemania · Teléfono (02233) 604-0 · Fax: (02233) 604-222 · e-mail: info@ld-didactic.de

Montaje experimental:



Instrucciones de seguridad:

¡El tubo de Perrin es un tubo de vidrio de vacío y de paredes delgadas, hay peligro de implosión!

- El tubo no debe estar sometido a cargas mecánicas.
- Conecte el tubo de Perrin sólo con los cables de seguridad especiales para la experimentación.
- Siga al pie de la letra las instrucciones de servicio del Tubo de Perrin (555 622) y del Portatubo (555 600).

Montaje

El montaje experimental está representado en la figura. Para el montaje es necesario realizar los siguientes pasos:

- Instale cuidadosamente el tubo de Perrin en el portatubo.
- Para la calefacción del tubo conecte las hembrillas F_1 y F_2 del portatubo a la salida posterior de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV.
- Conecte la hembrilla C del portatubo (casquillo del cátodo del tubo) al polo negativo y la hembrilla A (ánodo) al polo positivo de la fuente de alimentación de 10 kV y adicionalmente ponga a tierra el polo positivo.
- Una la hembrilla X (placas de deflexión) con la hembrilla A (ánodo).
- Oriente la bobina de 500 espiras mediante los tacos, directamente debajo del tubo de Perrin y conéctelo a la salida de tensión alterna 0-20 V del transformador S.
- Monte el par de bobinas de Helmholtz en las posiciones marcadas con H (geometría de Helmholtz) del portatubo. Ajuste la altura de las bobinas de tal forma que el centro de las bobinas se encuentre a la altura del eje del haz. Conecte las bobinas en serie al generador de funciones de tal forma que la corriente circule por las bobinas en el mismo sentido.

Realización del experimento

- Encienda la fuente de alimentación de alta tensión y elija una tensión anódica entre 2,5 y 5 kV. En la pantalla fluorescente aparecerá una pequeña mancha verde luminosa.
- Para generar un campo magnético alterno horizontal encienda el generador de funciones y ajuste una tensión de salida de aprox. 2,5 V con una frecuencia f_1 de aproximadamente 1 Hz.
- Observe la pequeña mancha luminosa sobre la pantalla.
- Aumente la frecuencia f_1 a aprox. 50 Hz y nuevamente observe la imagen sobre la pantalla fluorescente. Luego retorne la tensión a 0 V.
- Para generar un campo alterno vertical (f_2 = 50 Hz) encienda el transformador de baja tensión S y aumente la tensión lentamente hasta aprox. 6 V.
- Sin alterar la frecuencia f_1 = 50 Hz, aumente la tensión en el generador de funciones hasta aprox. 2,5 V. Observe la imagen sobre la pantalla fluorescente.
- Varíe cuidadosamente la frecuencia f_1 alrededor de 50 Hz.
- Por último ajuste la frecuencia f_1 a valores notoriamente mayores y menores.

Observación

Si a las bobinas de Helmholtz se les aplica una tensión alterna con una frecuencia f_1 de 1 Hz, la mancha luminosa se mueve en dirección vertical sobre la pantalla, de arriba hacia abajo y viceversa. Si se aumenta la tensión lentamente, aumenta también la desviación de la mancha luminosa hacia arriba y hacia abajo. Después de elevar la frecuencia a 50 Hz se puede apreciar una línea vertical.

Si a la bobina de baja tensión se le aplica una tensión alterna con una frecuencia f_2 = 50 Hz, entonces se ve una línea horizontal sobre la pantalla. Si se aumenta la tensión, la línea horizontal se prolonga simétricamente por ambos lados hacia la izquierda y hacia la derecha.

Si tanto a la bobina de baja tensión como a las bobinas de Helmholtz se les aplica una tensión alterna con una frecuencia de 50 Hz, entonces en la pantalla aparece una elipse que aparenta rotar. Pequeñas variaciones de la frecuencia f_1 alrededor de 50 Hz hace que se varíe la velocidad de la rotación de la elipse o se cambie la dirección de rotación.

Cuando la variación de la frecuencia es mayor se aprecian otras figuras. Si la razón entre f_1 y f_2 es un número racional las figuras parecen estar estacionarias.

Evaluación

El tamaño de la desviación depende de la intensidad del campo magnético, esto es, de la intensidad de corriente que circula por las bobinas. Un aumento de la tensión aplicada produce una corriente mayor y por tanto una mayor desviación del haz electrónico.

Hasta $f_1 \approx 30$ Hz todavía se puede percibir el movimiento del punto, por encima de este valor sólo se ve una línea continua, ya que el ojo no puede resolver el movimiento del punto. Este efecto es reforzado por la persistencia luminosa de la pantalla.

Si un rayo electrónico se mueve entre dos campos magnéticos alternos, cuyas líneas de campo se cruzan

LD Didactic GmbH · Leyboldstraße 1 · D-50354 Hürth / Alemania · Teléfono (02233) 604-0 · Fax: (02233) 604-222 · e-mail: info@ld-didactic.de

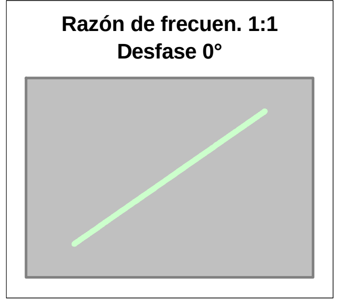
perpendicularmente entre sí, entonces los movimientos de los electrones en las direcciones vertical y horizontal se superponen. Sobre la pantalla se verán diferentes figuras dependiendo de las frecuencias seleccionadas. Estas figuras son conocidas como “Figuras de Lissajous”.

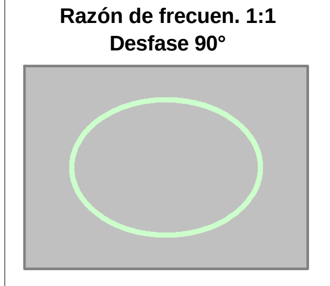
La elongación horizontal y vertical de las figuras de Lissajous sobre la pantalla depende de las tensiones alternas aplicadas. Si la razón entre f_1 y f_2 es un número racional, se obtienen entonces figuras cerradas que se ven estacionarias. En las figuras de la derecha se muestran las curvas para diferentes razones de frecuencia y desfases.

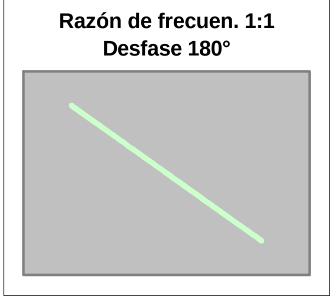
Si las frecuencias de ambos campos son iguales pero con desfase diferente entre ambas oscilaciones, la figura de Lissajous tiene la forma de una línea, un círculo o una elipse. Una elipse que rota indica que las frecuencias aplicadas no coinciden exactamente. Si la razón de frecuencias varía, entonces se obtienen otras figuras.

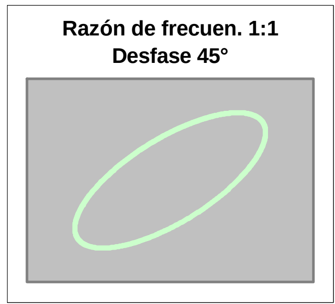
La razón de frecuencias se puede determinar a partir del número de máximos en los bordes que se tiene en un recorrido. Para una razón de frecuencias de 3:2 se aprecian 3 máximos, arriba y abajo, y 2 máximos en cada lado. Un caso especial se presenta cuando una línea oculta un máximo. Lo que se ve son varios máximos juntos que deben ser contados por separado. En el ejemplo con una razón de frecuencias de 4:3 y con desfase de 270° los dos máximos inferiores se esconden detrás de líneas, los otros máximos son recorridos dos veces cada uno. Si se hace el conteo a través de un recorrido completo se obtiene la relación de 4 a 3.

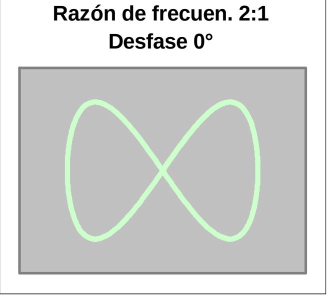
Nota:
A partir de las figuras de Lissajous se puede analizar cualquier tensión alterna aplicada a las bobinas de Helmholtz en su valor absoluto y frecuencia. A tal fin debe colocarse una escala sobre la pantalla del tubo y aplicar, a la bobina de baja tensión, una tensión alterna conocida en valor absoluto y frecuencia. De esta forma, el montaje experimental también puede ser usado como modelo de osciloscopio.

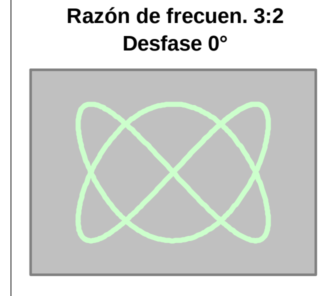

Razón de frecuen. 1:1
Desfase 0°

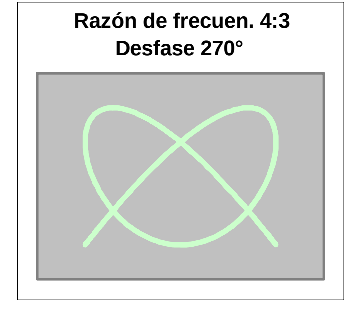

Razón de frecuen. 1:1
Desfase 90°

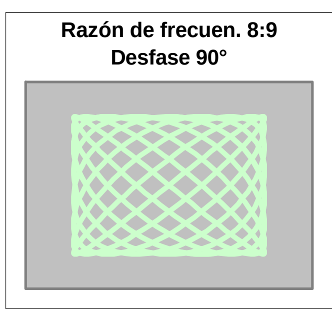

Razón de frecuen. 1:1
Desfase 180°


Razón de frecuen. 1:1
Desfase 45°


Razón de frecuen. 2:1
Desfase 0°


Razón de frecuen. 3:2
Desfase 0°


Razón de frecuen. 4:3
Desfase 270°


Razón de frecuen. 8:9
Desfase 90°

LD Didactic GmbH · Leyboldstraße 1 · D-50354 Hürth / Alemania · Teléfono (02233) 604-0 · Fax: (02233) 604-222 · e-mail: info@ld-didactic.de

LD Didactic GmbH · Leyboldstraße 1 · D-50354 Hürth / Alemania · Teléfono (02233) 604-0 · Fax: (02233) 604-222 · e-mail: info@ld-didactic.de